

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19)世界知的所有権機関
国際事務局



(43)国際公開日
2003年6月12日 (12.06.2003)

PCT

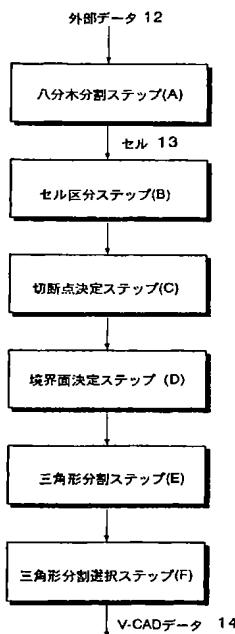
(10)国際公開番号
WO 03/048980 A1

(51) 国際特許分類 ⁷ :	G06F 17/50	(72) 発明者; および
(21) 国際出願番号:	PCT/JP02/12629	(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 加瀬 究 (KASE,Kiwamu) [JP/JP]; 〒351-0198 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内 Saitama (JP). 手嶋 吉法 (TESHIMA,Yoshinori) [JP/JP]; 〒351-0198 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内 Saitama (JP). 山崎 俊太郎 (YAMAZAKI,Shuntaro) [JP/JP]; 〒351-0198 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内 Saitama (JP). 宇佐見 修吾 (USAMI,Shugo) [JP/JP]; 〒351-0198 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内 Saitama (JP). 牧野内 昭武 (MAKINOUCHI,Akitake) [JP/JP]; 〒351-0198 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内 Saitama (JP).
(22) 国際出願日:	2002年12月3日 (03.12.2002)	
(25) 国際出願の言語:	日本語	
(26) 国際公開の言語:	日本語	
(30) 優先権データ: 特願2001-370040 2001年12月4日 (04.12.2001) JP		
(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 理化学研究所 (RIKEN) [JP/JP]; 〒351-0198 埼玉県和光市広沢2番1号 Saitama (JP).		

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR CONVERTING 3-DIMENSIONAL SHAPE DATA INTO CELL INNER DATA AND CONVERSION PROGRAM

(54)発明の名称: 3次元形状データのセル内部データへの変換方法および変換プログラム



(57) Abstract: A method for converting 3-dimensional shape data into cell inner data includes an octantal division step (A) for dividing external data (12) by an octantal division into a parallelepiped cell (13), a cell division step (B) for dividing each cell into an inner cell (13a) and a boundary cell (13b), a cutting point decision step (C) for calculating a cutting point of the ridge line by the boundary data, and a boundary surface decision step (D). In the boundary surface decision step (D), cases of the number of cutting points 3, 4, 5, 6 are divided as separate boundary cell types. A combination of ridge lines to be cut in each boundary cell type is set in advance. From the number of cutting points calculated and the ridge lines which have been cut, pattern matching is performed to obtain the boundary cell type and its combination. Moreover, in general, when the number of cutting points is 3 to 12, a closed loop is created along the cutting points on the cell surface.

- 12...EXTERNAL DATA
(A)...OCTANTAL DIVISION STEP
13...CELL
(B)...CELL DIVISION STEP
(C)...CUTTING POINT DECISION STEP
(D)...BOUNDARY SURFACE DECISION STEP
(E)...TRIANGULAR DIVISION STEP
(F)...TRIANGULAR DIVISION SELECTION STEP
14...V-CAD DATA

[続葉有]

WO 03/048980 A1



(74) 代理人: 堀田 実 (HOTTA,Minoru); 〒108-0014 東京都
港区 芝5丁目26番20号建築会館4階 アサ国際
特許事務所 Tokyo (JP).

添付公開書類:
— 國際調査報告書

(81) 指定国(国内): CN, JP, US.

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(84) 指定国(広域): ヨーロッパ特許 (DE, FR, GB).

(57) 要約:

外部データ12を八分木分割により直方体のセル13に分割する八分木分割ステップ(A)と、各セルを内部セル13aと境界セル13bとに区分するセル区分ステップ(B)と、境界データによる稜線の切断点を求める切断点決定ステップ(C)と、境界面決定ステップ(D)とを有する。境界面決定ステップ(D)において、切断点の数が3、4、5、6である場合をそれぞれ別の境界セル種として区分し、各境界セル種毎に切断する稜線の組み合わせを予め設定し、求めた切断点の数と切断した稜線から、パターンマッチングにより境界セル種とその組み合わせを求める。また、一般に切断点の数が3～12である場合に各切断点をセルの表面だけをたどってできる閉ループを構成する

明細書

3次元形状データのセル内部データへの変換方法及び変換プログラム

5

発明の背景発明の技術分野

本発明は、形状と物性を統合した実体データを小さい記憶容量で記憶し、 CAD とシミュレーションを一元化することできる実体データの記憶方法に係り、更に詳しくは、3次元形状データを八分木分割によるセルの内部データに変換する方法及び変換プログラムに関する。

関連技術の説明

先端的な研究開発・技術開発の現場では、その高度化・複雑化に伴い、膨大な試行錯誤が不可欠となっており、開発途中でのリスクが高まっている。科学技術立国を目指す我が国として、これらのリスクを極力排し、開発過程の革新的な高度化・効率化を図ることが極めて重要である。

現在、研究開発・技術開発の現場において、CAD (Computer Aided Design) 、CAM (Computer Aided Manufacturing) 、CAE (Computer Aided Engineering) 、CAT (Computer Aided Testing) などが、それぞれ設計、加工、解析、試験のシミュレーション手段として用いられている。

また、本発明によって、連続的なシミュレーションであるC-Simulation (Cooperative Simulation) 、加工プロセスも考慮したA-CAM (Advanced CAM) 、究極の精度が出せるD-fabrication (Deterministic fabrication) なども、これから広く普及するはずである。

上述した従来のシミュレーション手段では、対象物を、CSG (Constructive Solid Geometry) やB-rep (Boundary

y Representation) でデータを記憶している。

しかし、CSGでは、対象物全体を微細なソリッドモデルの集合体として記憶するため、データが重くシミュレーション手段（ソフトウェア等）を実装する場合、膨大なデータを扱うこととなり、大型コンピュータを用いた場合でも解析に5 時間かかる問題点があった。

また、B-repでは、対象物を境界で表現するため、データは軽く、データ量は小さくなるが、境界面の内部に関する情報が直接的にはないため、そのままでは変形解析等には適さない問題点があった。

更に、これらの従来のデータ記憶手段では、熱・流体解析、固体の大変形解析、10 これらの連成解析等でその都度、解析に適したメッシュ等に分割して、有限要素法等を適用するため、その解析結果を表示等はできるが、CADとシミュレーションを一元化することが困難であり、設計・解析・加工・組立・試験等の各工程を同じデータで管理することができない問題点があった。

言い換れば、現状のSolid/Surface-CAD（以下S-CADと15 呼ぶ）には、以下の問題点があった。

(1) データが渡らない、内部での変換操作に弱い(数値誤差と処理方法の問題)。

(2) シミュレーションに直接使えない（内部情報をもっていないのでメッシュを生成しなくてはいけない）。

(3) CAMによる加工の検討ができない（最終形状しかもっていない）。

また加工においても以下の問題点があった。

(1) 加工プロセスの表現ができない（荒加工や工程設計の支援が不十分）。

(2) レーザー加工や超先端加工など新しい加工法に対応できていない（切削しかない、数値精度が足りない）。

(3) 加工法自体の選択ができない（複合体で内部に異なる材料特性を有する）。

上述した問題点を解決するために、本発明の発明者等は、「形状と物性を統合した実体データの記憶方法」を創案し、出願した（特願2001-25023、未公開）。

この発明は、図1に模式的に示すように、対象物の境界データからなる外部データを八分木分割により境界平面が直交する直方体のセルに分割し、分割された

各セルを対象物の内側又は外側に位置する内部セル 13a と境界面を含む境界セル 13b とに区分するものである。なおこの図で 15 は切断点である。

この発明により、各セル毎に種々の物性値を記憶することにより、形状と物性を統合した実体データを小さい記憶容量で記憶することができ、これにより、物体の形状・構造・物性情報・履歴を一元的に管理し、設計から加工、組立、試験、評価など一連の工程に関わるデータを同じデータで管理することができ、C A D とシミュレーションを一元化することできる。

上述した実体データの記憶方法（以下、「ボリューム C A D」又は「V- C A D」と呼ぶ）では、境界セルに 3 次元形状データ（外部データ）の境界面を再構成できる境界データを保有させる必要がある。

また、この境界データは、隣接するセルとの連続性が保てないと、表面を三角形メッシュに分割した際に、すきまや、微小な三角形や細長い三角形などができる、正確なシミュレーションができなくなる問題点が生じる。

一方、大きさの異なるボリューム間で生じる三角形メッシュのすきまを埋める処理（クラックパッチ処理）が知られているが、この処理では単純に異なるすきまを埋めるため、本来滑らかな表面に、三角形間の角度が急なメッシュを生成することがある。また、この問題を解決するために、特開 2001-22961 の「非一様ボリュームモデルからの同位相面生成方法」が提案されているが、モデルが異なるボリューム C A D の適用は困難であり、かつ処理が複雑である問題点があった。

発明の要約

本発明は、上述した問題点を解決するために創案されたものである。すなわち、本発明の目的は、ボリューム C A Dにおいて、隣接するセルとの連続性を保ち、すきまや精度的に望ましくない三角形を形成することなく、曲率の大きい曲面にも精度よく近似した表面を三角形メッシュに分割することができるセル内部データを外部データから形成することができる、3 次元形状データのセル内部データへの変換方法及び変換プログラムを提供することにある。

本発明によれば、対象物の境界データからなる外部データ（12）を八分木分割により境界平面が直交する直方体のセル（13）に分割する八分木分割ステップ（A）と、分割された各セルを対象物の内側又は外側に位置する内部セル（13a）と境界データを含む境界セル（13b）とに区分するセル区分ステップ（B）と、前記境界データによる境界セル（13b）の稜線の切断点を求める切断点決定ステップ（C）と、求めた切断点の数が3以上、12以下である場合に、その切断点を結ぶ多角形を境界面のセル内部データとする境界面決定ステップ（D）とを有する、ことを特徴とする3次元形状データのセル内部データへの変換方法及び変換プログラムが提供される。

この方法及び変換プログラムによれば、八分木分割ステップ（A）とセル区分ステップ（B）により、対象物の外部データ（12）を八分木分割により境界平面が直交する直方体のセル（13）に分割したセルの階層として小さい記憶容量で外部データ（12）を記憶することができる。

また、切断点決定ステップ（C）と境界面決定ステップ（D）により、隣接するセルとの連続性を保ち、すきまやゆがんだ三角形を形成することなく表面を多角形の境界面のセル内部データとすることができます。

本発明の好ましい実施形態によれば、境界面決定ステップ（D）において、切断点の数が3、4、5、6である場合をそれぞれ別の境界セル種（KTC3、KTC4a、KTC4b、KTC5、KTC6）として区分し、各境界セル種毎に切断する稜線の組み合わせを予め設定し、求めた切断点の数と切断した稜線から、パターンマッチングにより境界セル種とその組み合わせを求める。

この方法により、境界面を境界セル種とその組み合わせで記憶することができ、小さい記憶容量で保存でき、かつ隣接するセルとの連続性を保つことができる。

また、切断点を結ぶ多角形で切断した稜線のうち、セルの表面だけをたどってできる閉ループを構成することによって境界面を決定してもよい。この方法により、境界面を切断点のならびで表現した三角形で記憶することができる。

更に、前記多角形を切断点を結ぶ複数の三角形に分割する三角形分割ステップ（E）と、複数の三角形分割に対してそれぞれ、外部データ（12）の境界データの有する法線を延長し、これと交点を有し距離が最も近い三角形を選択し、そ

の三角形の法線とのなす角を求め、それらの最大偏差が最も小さい三角形分割を選択する三角形分割選択ステップ（F）とを有する、ことが好ましい。

この方法により、境界面が曲面である場合でも、隣接するセルとの連続性を保ち、すきまや精度的に望ましくない三角形を形成することなく、その曲面を近似した三角形メッシュに分割することができる。
5

本発明のその他の目的及び有利な特徴は、添付図面を参照した以下の説明から明らかになろう。

10

図面の簡単な説明

図1は、本発明による分割方法を二次元で示す模式図である。

図2は、本発明のデータ変換方法及び変換プログラムのフロー図である。

図3A、図3Bおよび図3Cは、境界データを含むセルの各部を示す図である。
15

図4A乃至図4Eは、境界面が平面である場合の切断点数が3、4、5、6である例である。

図5Aと図5Bは、三角形分割の選択法を模式的に示す図である。

図6Aと図6Bは、曲率の大きな面に対応して拡張されたKTC4aとKTC
20 4bの例である。

図7Aと図7Bは、KTC5とKTC6の別の例を示す図である。

図8A乃至図8Eは、境界面が曲面である場合の切断点数が3、4、5、6である例である。

図9A乃至図9Fは、境界面が平面である場合の切断点数が7、8、9、10、
25 11、12である例である。

好ましい実施例の説明

以下、本発明の好ましい実施形態を図面を参照して説明する。

5 図2は、本発明のデータ変換方法及び変換プログラムのフロー図である。この図に示すように、本発明の方法及び変換プログラムは、八分木分割ステップ(A)、セル区分ステップ(B)、切断点決定ステップ(C)、境界面決定ステップ(D)、三角形分割ステップ(E)、及び三角形分割選択ステップ(F)からなる。

10 外部から入力する外部データ12は、多面体を表すポリゴンデータ、有限要素法に用いる四面体又は六面体要素、3次元CAD又はCGツールに用いる曲面データ、或いはその他の立体の表面を部分的な平面や曲面で構成された情報で表現するデータである。

外部データ12は、このようなデータ(S-CADデータと呼ぶ)のほかに、

15 (1)V-CAD独自のインターフェース(V-interface)により人間の入力により直接作成されたデータと、(2)測定機やセンサ、デジタイザなどの表面のデジタイズデータや、(3)CTスキャンやMRI、および一般的にVolumeレンダリングに用いられているボクセルデータなどの内部情報ももつVolumeデータであってもよい。

20 八分木分割ステップ(A)では、外部データ取得ステップ(図示せず)で取得した対象物の境界データからなる外部データ12を八分木分割により境界平面が直交する直方体のセル13に分割する。この八分木分割ステップ(A)では、修正された八分木(オクトリー、Octree)による空間分割を行う。オクトリー表現、すなわち八分木による空間分割とは、目的の立体(対象物)を含む、基準となる直方体13を8分割し、それぞれの領域の中に立体が完全に含まれるか、25 含まれなくなるまで再帰的に8分割処理を繰り返す。この八分木分割によりボクセル表現よりも大幅にデータ量を減らすことができる。

八分木による空間分割により分割された一つの空間領域をセル13とよぶ。セルは境界平面が直交する直方体である。セルによる階層構造、分割数もしくは分解能によって空間中に占める領域を表現する。これにより空間全体の中で対象は

大きさの異なるセルを積み重ねたものとして表現される。

また、八分木の特別な場合として、全てのセルが合同な直方体（同じ分割数）で表現される場合は通常「ボクセル」と呼ばれる形態と同じになる。

セル区分ステップ（B）では、分割された各セルを対象物の内側又は外側に位置する内部セル13aと境界データを含む境界セル13bとに区分する。

すなわち本発明では境界セル13bを表現するために修正された八分木を使い、セルの内部に境界を含まないものはその最大の大きさをもつ内部セル13a（直方体）とし、外部データ12からの境界情報を含むセルは境界セル13bとする。

10 切断点決定ステップ（C）では、境界データによる境界セル13bの稜線の切断点15を求める。

境界面決定ステップ（D）では、求めた切断点の数が3以上、12以下である場合に、その切断点を結ぶ多角形を境界面のセル内部データとする。すなわち、境界面決定ステップ（D）において、切断点を結ぶ多角形で切断する稜線のうち、15 セルの表面だけをたどってできる閉ループを構成する。また切断点の数が3、4、5、6である場合をそれぞれ別の境界セル種（KTC3, KTC4a, KTC4b, KTC5, KTC6）として区分し、各境界セル種毎に切断する稜線の組み合わせを予め設定し、求めた切断点の数と切断した稜線から、パターンマッチングにより境界セル種とその組み合わせを求めるこどもできる。

20 三角形分割ステップ（E）では、境界面決定ステップ（D）で求めた多角形を切断点を結ぶ複数の三角形に分割する。この三角形分割は通常複数存在する。

三角形分割選択ステップ（F）では、三角形分割ステップ（E）で得られた複数の三角形分割に対してそれぞれ、外部データ12の境界データの有する法線を延長し、これと交点を有し距離が最も近い三角形を選択し、その三角形の法線とのなす角を求め、それらの最大偏差が最も小さい三角形分割を選択する。

本発明の方法では、必要に応じてステップ（A）～ステップ（F）を繰り返し行う。また、得られたV-CADデータを用いて、例えば、設計・解析・加工・組立・試験等のシミュレーションを順次行い、これを出力ステップ（例えばCAMやポリゴンデータ等の三角形パッチとして）に出力する。

以下、本発明を更に詳細に説明する。

対象物の境界データからなる外部データ 1 2 として、曲面および三角形パッチ(ネット、メッシュ以下同じ)を想定する(以下入力面と呼ぶ)。以下、それらと空間分割(ボクセルとオクトリー)された各セルの稜との切断点情報および入力面の法線情報のみからボリュームCADの内部表現である境界セル種(KTC 3, KTC 4 a, KTC 4 b, KTC 5, KTC 6)へ変換する方法について述べる。以下、境界セル種(KTC 3, KTC 4 a, KTC 4 b, KTC 5, KTC 6)を「KTCセル」または「KTC」と略称する。

図3A、図3Bおよび図3Cは、境界データを含むセルの各部を示している。八分木分割により境界平面が直交する直方体に分割されたセルは、6つの面、12の稜線(以下単に「稜」と呼ぶ)、8つの頂点を有する。

6つの面は、図3Aに示すように、z軸の正側からみて、Left, Right, Down, Up, Backward, Forwardを意味するL, R, D, U, B, F又は(1) (2) (3) (4) (5) (6)と名付け、この順で優先度を有するものとする。

12の稜線は、図3Bに示すように、稜を構成する2つの面符号、LD, LU, LB, LF, RD, RU, RF, DB, DF, UB, UF又は[1]～[12]と名付け、この順で優先度を有するものとする。

8つの頂点は、図3Cに示すように、頂点を構成する3つの面符号、LDB, LDF, LUB, LUF, RDB, RDF, RUB, RUF又は①～⑧と名付け、この順で優先度を有するものとする。

なお、これらの名称又は符号は便宜的なものであり、論理計算に適した別の記号、数字、またはその組み合わせであってもよい。

以下、KTC内での切断稜線の名称は図3に表記したものを用いる。

図4A乃至図4Eは、境界データの有する境界面が平面である場合の境界面と稜線との切断点の数が3、4、5、6である場合を示している。任意の切断稜から始めて同じ稜にかえってくるまで、隣接している稜で切断されているものを探して結んでゆき、閉ループを構成する。隣接している稜どうしは、稜の名前(2つの面符号)のうち必ず1つは同じ面符号をもっている。

三角形分割ステップ（E）において、多角形を切断点を結ぶ複数の三角形に分割すると通常複数の三角形分割が得られる。すなわち、K T C 4 a と K T C 4 b では2通り、K T C 5 では5通り、K T C 6 では14通りの三角形分割がある。
5 拡張された境界セル種（以下、拡張K T Cと呼ぶ）では、それぞれの三角形分割により異なった形状となるため、三角形分割選択ステップ（F）において外部データ12の境界データに最も近似したものを見つける必要がある。

図5Aと図5Bは、三角形分割の選択法を模式的に示したものであり、図5Aが最適な例、図5Bが不適合の例である。本発明では、入力面のセル内での法線分布における一つ一つの法線を延長して求まる交点が存在するセル内三角形を選び、そのなかでも距離が最も近いセル内三角形を選び、そのセル内三角形の法線とのなす角を求める。それらの最大偏差が最も小さい三角形分割を選ぶ。
10

法線は、パラメトリック曲面の場合は指定された分割数でU Vを分割した場合の点における法線、三角形メッシュが入力に場合はそのまま各三角形の法線を用いる。

15 図6Aと図6Bは、拡張されたK T C 4 a と K T C 4 bにおいて、曲率の大きい曲面に対しても対応可能となる例を示している。

なお、上述した実施例のほかに、切断点の数が3以上6以下の場合には、境界面決定ステップ（D）を以下に説明するパターンマッチングにより行ってもよい。

本発明では、この切断点の数が3、4、5、6である場合をそれぞれ別の境界セル種（K T C 3, K T C 4 a, K T C 4 b, K T C 5, K T C 6）として区分する。また図7Aと図7Bは、K T C 5とK T C 6の別の例を参考に示している。
20

各K T Cは以下の性質を有する。

K T C 3：頂点を介して（以下ピボット頂点（pivot vertex）と呼ぶ）隣接する3稜は必ず同じ方角を共有する。言い換えれば頂点の3方角を2つに分解した3稜が互いに隣接する（例：頂点LUFに隣接する稜はLF, LU, UF）。
25

K T C 4 a：稜を介して（以下ピボット稜）隣接する4稜は、ピボット稜（pivot edge）を分解してピボット稜に含まれない方角を付加したもので

ある。例えば、L Uに隣接する4稜はLとUに分解しそれぞれに (L ⇔ R, U ⇔ Dの2方向の補方向として) B ⇔ Fを付加して (L F, U F, L B, U B) である。同様にD Fに対しては (L D, R D, L F, R F) である。

K T C 4 b : 面を介して (ピボット面) 隣接する4稜はピボット面の方角をもたない2方角の組合せでできる4稜である。例えば、Lに属するのは残りD ⇔ U, B ⇔ Fの2方角を組み合わせた (D B, D F, U B, U F) である。

K T C 5 : (K T C 4 b + K T C 3) ピボット面とその面上のピボット頂点があるときに、まずK T C 4 bと同様に4稜を作成し、K T C 3と同様にピボット頂点に隣接する3稜とXORをとる (和集合から積を除く)。例えば、ピボットが面Bと頂点R D Bのとき (L D, L U, R D, R U) (←面B) XOR (R D, D B, R B) (←頂点R D B) = (L D, L U, R U, D B, R B) である。

K T C 6 : (対K T C 3の補 (1 2 - 3 - 3)) ピボット対頂点できるK T C 3の補集合 (例: R D F (L U B) をピボットとして選ぶと6稜の補集合として (R U, R B, L D, D B, L F, U F) である。すなわちピボット頂点と対頂点の補方角を結ぶ。さらに巡回化は任意の稜を選んで (例えばR U) 方角を共有する稜 (隣接稜) (この場合R BかU F) をたどってゆく。

セル内面抽出アルゴリズムとしては上述した法則の逆が求められている。以下、境界面決定ステップ(D)における、境界セル種の抽出アルゴリズムを説明する。

なお、切断点が頂点に実質的に一致する場合には「頂点縮退」として、3本の稜を持つK T Cにして分類する。また前処理として切断点を有する切断稜は方角順にL DからU Fまでソートしておく。

(逆K T Cの法則 (切断点→K T Cパターン))

K T C 3 : 切断稜が3本でピボット頂点を構成する8パターン

表1に示すように、①～⑧をピボット頂点とする (L D, L B, D B), (L D, L F, D F), (L U, L B, U B), (L U, L F, U F), (R D, R B, D B), (R D, R F, D F), (R U, R B, U B), (R U, R F, U F) のどれかとなる。縮退ケースとして切断点がセル頂点上にのっている場合は3通りの稜についてそれぞれパターンに入るかどうかチェックする。入ればどのケースでも速く見つかった方を登録し、隣接セルに関しては処理の後のセルはコ

ピーをすることにより整合性を守る。

【表1】

KTC3

①LDB	②LDF	③LUB	④LUF	⑤RDB	⑥RDF	⑦RUB	⑧RUF
LD, LB, DB	LD, LF, DF	LU, LB, UB	LU, LF, UF	RD, RB, DB	RD, RF, DF	RU, RB, UB	RU, RF, UF

5 K T C 4 a : ピボット稜に対応した 12 種類の 4 つの稜の順列

表2に示すように、[1]～[12]のピボット稜に対応した (L B, L F, D B), (L B, L F, U B, U F), (L D, L U, D B, U B), (L D, L U, D F, U F), (R B, R F, D B, D F), (R B, R F, U B, U F), (R D, R U, D B, U B), (R D, R U, D F, U F), (L D, L B, R D, R B), (L D, L F, R D, R F), (L U, L B, R U, R B), (L U, L F, R U, R F) のいずれかとなる。従ってこの稜線の組み合わせを予め設定しておき、4つの切断点(稜)が得られた段階でパターンマッチングを行う。頂点縮退に関してはK T C 3 と同様(それぞれについて3倍に増える)。

【表 2】

KTC4a

[1]LD	[2]LU	[3]LB	[4]LF	[5]RD	[6]RU
LB,LF, DB,DF	LB,LF, UB,UF	LD,LU, DB,UB	LD,LU, DF,UF	RB,RF, DB,DF	RB,RF, UB,UF
[7]RB	[8]RF	[9]DB	[10]DF	[11]UB	[12]UF
RD,RU, DB,UB	RD,RU, DF,UF	LD,LB, RD,RB	LD,LF, RD,RF	LU,LB, RU,RB	LU,LF, RU,RF

K T C 4 b : 表 3 に示すように、ピボット面（対面も含めて方向）の 3 種類の順列 (D B, D F, U B, U F), (L B, L F, R B, R F), (L D, L U, R D, R U) に入るかのパターンマッチングを行う。縮退については同様に 3 通りを調べる。

【表 3】

KTC4b

(1) L (2) R	(3) D (4) U	(5) B (6) F
DB,DF,UB,UF	LB,LF,RB,RF	LD,LU,RD,RU

K T C 5 : 表 4 に示すように、ピボット面とその面上のピボット頂点の選び方で $6 \times 4 = 24$ 通りのパターンがある。

【表4】

KTC5

(1) L

①LDB	②LDF	③LUB	④LUF
DF, UB, UF, LD, LB	DB, UB, UF, LD, LF	DB, DF, UF, UD, LB	DB, DF, UB, LU, LF

(2) R

⑤RDB	⑥RDF	⑦RUB	⑧RUF
DF, UB, UF, RD, RB	DB, UB, UF, RD, RF	DB, DF, UF, RU, RB	DB, DF, UB, RU, RF

(3) D

①LDB	②LDF	⑤RDB	⑥RDF
LF, RB, RF, LD, DB	LB, RB, RF, LD, DF	LB, LF, RF, RD, DB	LB, LF, RB, RD, DF

(4) U

③LUB	④LUF	⑦RUB	⑧RUF
LF, RB, RF, LU, UB	LB, RB, RF, LU, UF	LB, LF, RF, RU, UB	LB, LF, RB, RU, UF

(5) B

①LDB	③LUB	⑤RDB	⑦RUB
LU, RD, RU, LB, DB	LD, RD, RU, LB, UB	LD, LU, RU, RB, DB	LD, LU, RD, RB, UB

(6) F

②LDF	④LUF	⑥RDF	⑧RUF
LU, RD, RU, LF, DF	LD, RD, RU, LF, UF	LD, LU, RU, RF, DF	LD, LU, RD, RF, UF

K T C 6 : 表 5 に示すように、対頂点の 4 通りのパターンマッチングで示される。

【表 5】

KTC6

①LDB ⑧RUF	③LUB ⑥RDF	④LUF ⑤RDB	②LDF ⑦RUB
LU,UB,RB, RD,DF,LF	LD,LF,UF, RU,RB,DB	LD,LB,UB, RU,RF,DF	LU,LB,DB, RD,RF,UF

5 以上のパターンに入らないものはそのままにするか、必要に応じてステップ (A) ~ステップ (F) を繰り返し行う。

図 8 A 乃至 図 8 E は、境界データの有する境界面が曲面である場合の境界面と稜線との切断点の数が 3、4、5、6 である場合を示している。本発明では、この切断点の数が 3、4、5、6 である場合をそれぞれ拡張された境界セル種 (K 10 T C 3, K T C 4 a, K T C 4 b, K T C 5, K T C 6) として区分する。

図 9 A 乃至 図 9 F は、境界面が平面である場合の切断点数が 7、8、9、10、11、12 である例である。

切断点数が 7、8、9、10、11、12 である場合にも、上述した境界面決定ステップ (D) の閉ループを構成する方法を同様に適用することができる。

15 上述したように、本発明の方法によれば、八分木分割ステップ (A) とセル区分ステップ (B) により、対象物の外部データ 1 2 を八分木分割により境界平面が直交する直方体のセル 1 3 に分割したセルの階層として小さい記憶容量で外部データ 1 2 を記憶することができる。

また、切断点決定ステップ (C) と境界面決定ステップ (D) により、隣接するセルとの連続性を保ち、すきまや鋭角面を形成することなく表面を多角形の境界面のセル内部データとすることができる。

また、切断点の数が 3、4、5、6 である場合をそれぞれ別の境界セル種 (K T C 3, K T C 4 a, K T C 4 b, K T C 5, K T C 6) として区分し、各境界セル種毎に切断する稜線の組み合わせを予め設定し、求めた切断点の数と切断した稜線から、パターンマッチングにより境界セル種とその組み合わせを求める方 25

法により、また、切断点の数が 3 から 12 の場合に各切断点をセルの表面だけをたどってできる閉ループを構成する方法により、境界面を境界セル種とその組み合わせで記憶することができ、小さい記憶容量で保存でき、かつ隣接するセルとの連続性を保つことができる。

5 更に、多角形を切断点を結ぶ複数の三角形に分割し、複数の三角形分割に対してそれぞれ、外部データ 12 の境界データの有する法線を延長し、これと交点を有し距離が最も近い三角形を選択し、その三角形の法線とのなす角を求め、それらの最大偏差が最も小さい三角形分割を選択する方法により、境界面が曲面である場合でも、隣接するセルとの連続性を保ち、すきまや鋭角面を形成することなく、その曲面を近似した三角形メッシュに分割することができる。

従って、本発明の 3 次元形状データのセル内部データへの変換方法及び変換プログラムは、ボリューム CADにおいて、隣接するセルとの連続性を保ち、すきまや精度的に望ましくない三角形を形成することなく、曲率の大きい曲面にも精度よく近似した表面を三角形メッシュに分割することができるセル内部データを 15 外部データから形成することができる、等の優れた効果を有する。

なお、本発明をいくつかの好ましい実施例により説明したが、本発明に含まれる権利範囲は、これらの実施例に限定されないことが理解されよう。反対に、本発明の権利範囲は、添付の請求の範囲に含まれるすべての改良、修正及び均等物を含むものである。

請求の範囲

1. 対象物の境界データからなる外部データ（12）を八分木分割により境界平面が直交する直方体のセル（13）に分割する八分木分割ステップ（A）と、
5 分割された各セルを対象物の内側又は外側に位置する内部セル（13a）と境界データを含む境界セル（13b）とに区分するセル区分ステップ（B）と、前記境界データによる境界セル（13b）の稜線の切断点を求める切断点決定ステップ（C）と、
10 求めた切断点の数がn（nは3以上、12以下の整数）である場合に、その切断点を結ぶ多角形を境界面のセル内部データとする境界面決定ステップ（D）とを有する、ことを特徴とする3次元形状データのセル内部データへの変換方法。
2. 境界面決定ステップ（D）において、切断点の数が3、4、5、6である場合をそれぞれ別の境界セル種（KTC3, KTC4a, KTC4b, KTC5, KTC6）として区分し、各境界セル種毎に切断する稜線の組み合わせを予め設定し、求めた切断点の数と切断した稜線から、パターンマッチングにより境界セル種とその組み合わせを求める、ことを特徴とする請求項1に記載の3次元形状データのセル内部データへの変換方法。
15
3. 境界面決定ステップ（D）において、切断点を結ぶ多角形で切断する稜線のうち、セルの表面だけをたどってできる閉ループを構成する、ことを特徴とする請求項1に記載の3次元形状データのセル内部データへの変換方法。
20
4. 前記多角形を切断点を結ぶ複数の三角形に分割する三角形分割ステップ（E）と、
複数の三角形分割に対してそれぞれ、外部データ（12）の境界データの有する法線を延長し、これと交点を有し距離が最も近い三角形を選択し、その三角形の法線とのなす角を求め、それらの最大偏差が最も小さい三角形分割を選択する三角形分割選択ステップ（F）とを更に有する、ことを特徴とする請求項1乃至
25 3のいずれかに記載の3次元形状データのセル内部データへの変換方法。
5. 対象物の境界データからなる外部データ（12）を八分木分割により

境界平面が直交する直方体のセル（13）に分割する八分木分割ステップ（A）と、

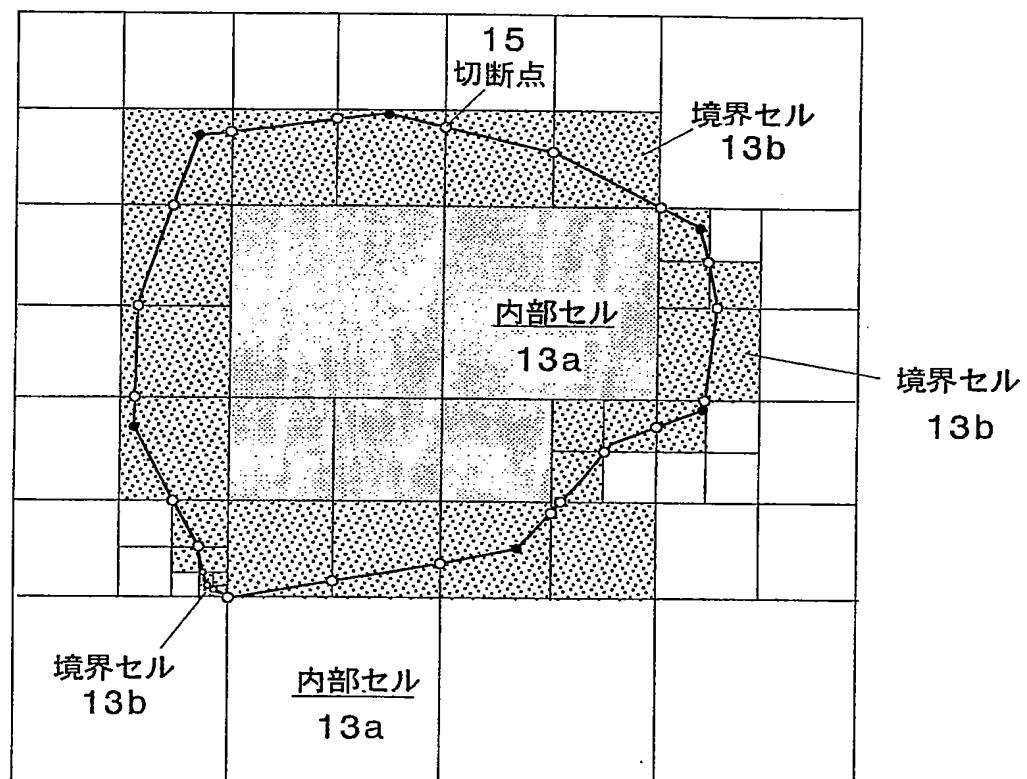
分割された各セルを対象物の内側又は外側に位置する内部セル（13a）と境界データを含む境界セル（13b）とに区分するセル区分ステップ（B）と、

5 前記境界データによる境界セル（13b）の稜線の切断点を求める切断点決定ステップ（C）と、

求めた切断点の数がn（nは3以上、12以下の整数）である場合に、その切断点を結ぶ多角形を境界面のセル内部データとする境界面決定ステップ（D）とを有する、ことを特徴とする3次元形状データのセル内部データへの変換プログ
10 ラム。

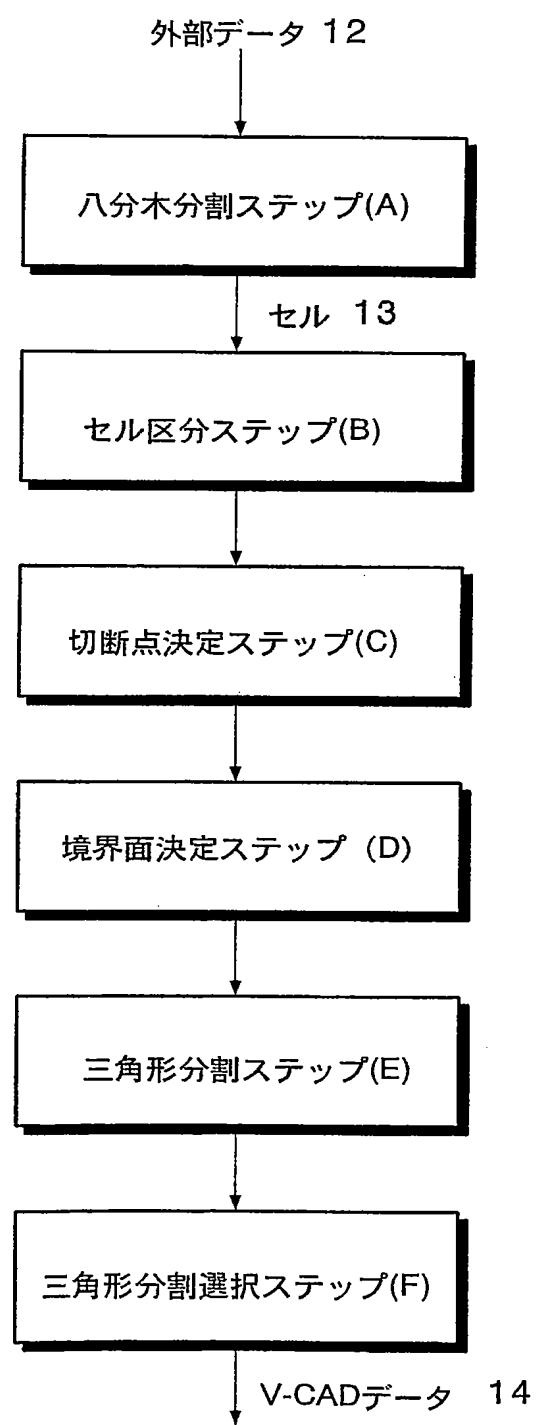
1/9

図1



2/9

図2



3/9

図3A

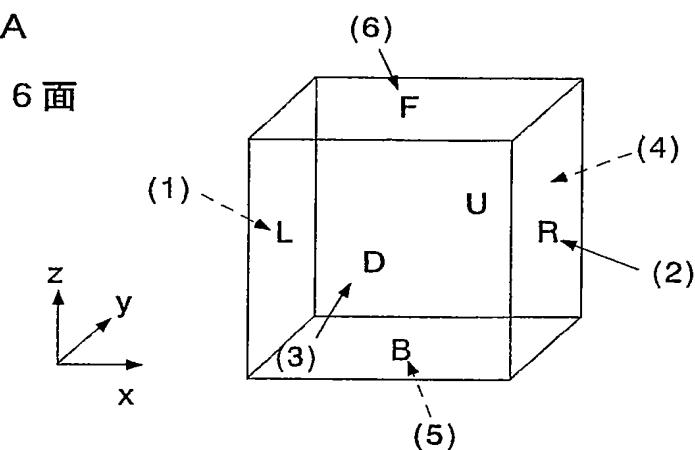


図3B

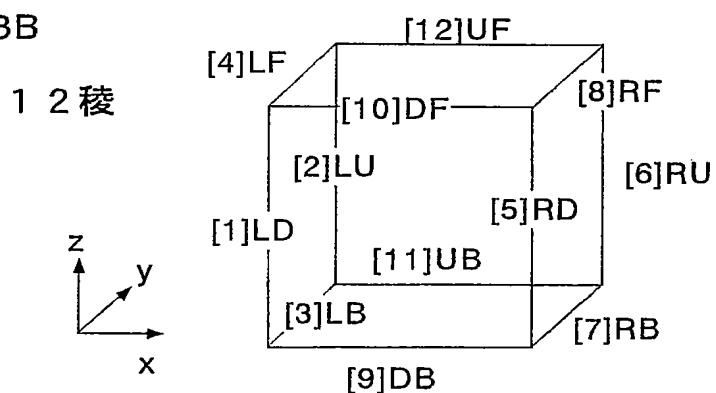
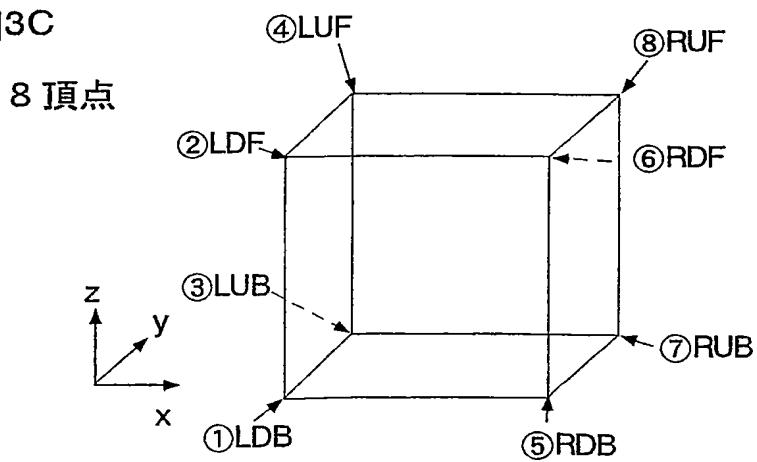
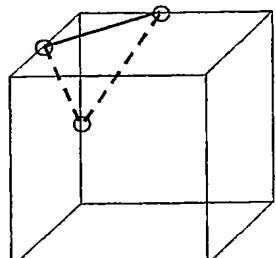


図3C



4/9

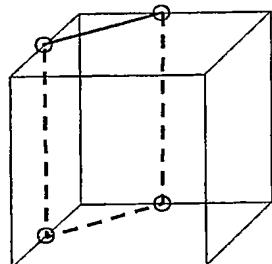
図4A



KTC3

 (LU, LF, UF) or
 $([2], [4], [12])$

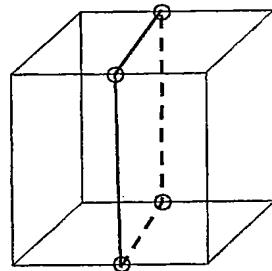
図4B



KTC4a

 (LB, LF, UB, UF)

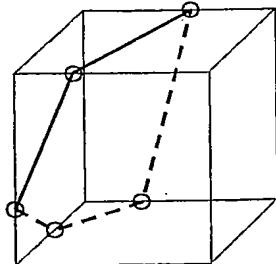
図4C



KTC4b

 (DB, DF, UB, UF)

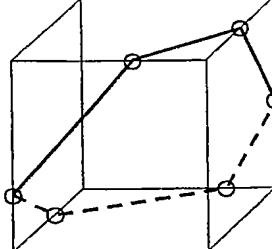
図4D



KTC5

 (LD, LB, LF, UB, UF)

図4E



KTC6

 (LD, RU, RF, DB, DF, UB)

5/9

図5A

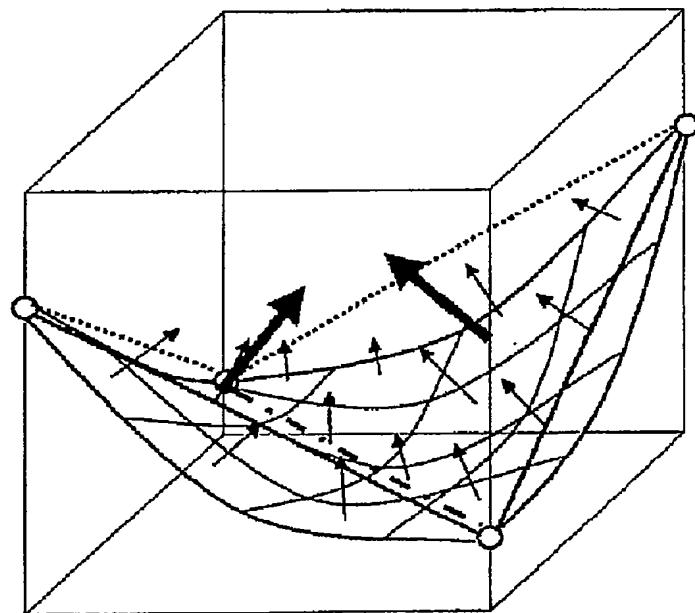
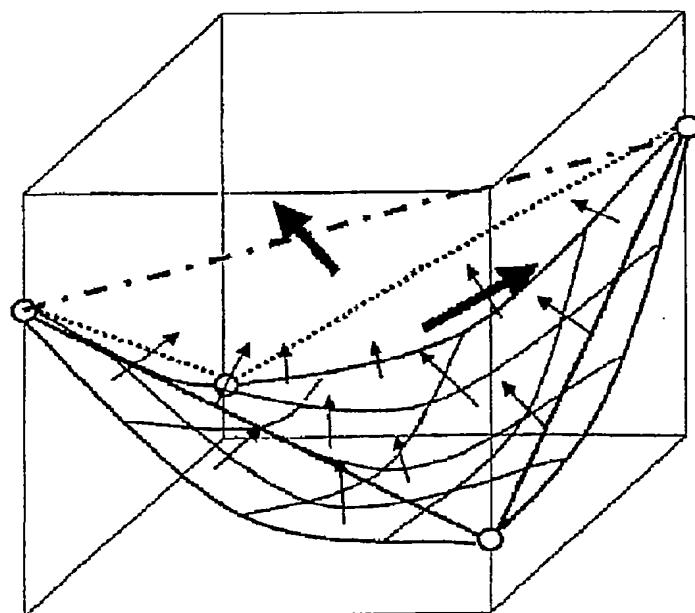
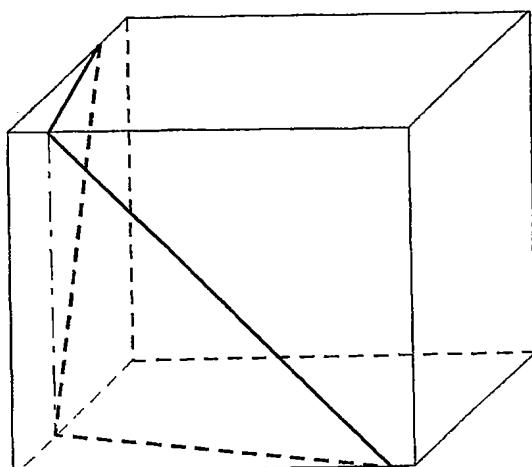


図5B



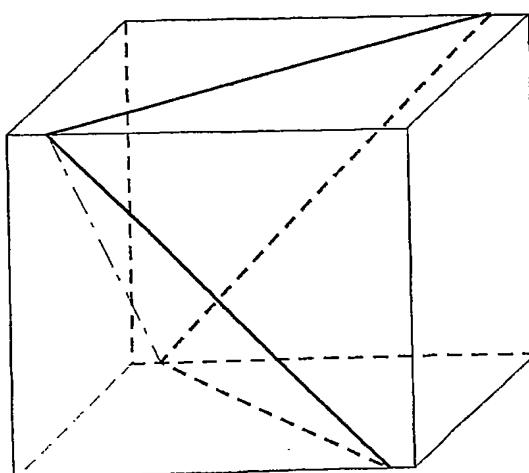
6/9

図6A



KTC4a

図6B



KTC4b

7/9

図7A

KTC5

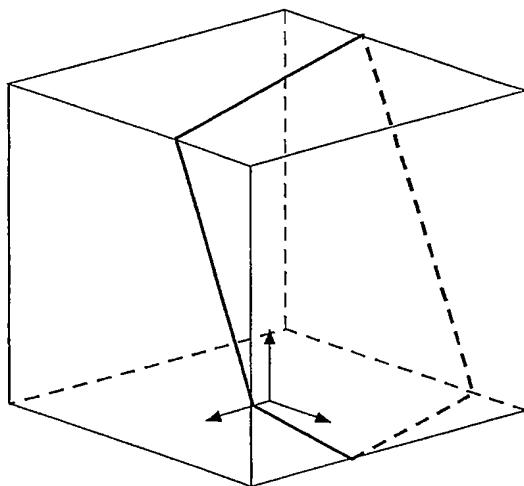
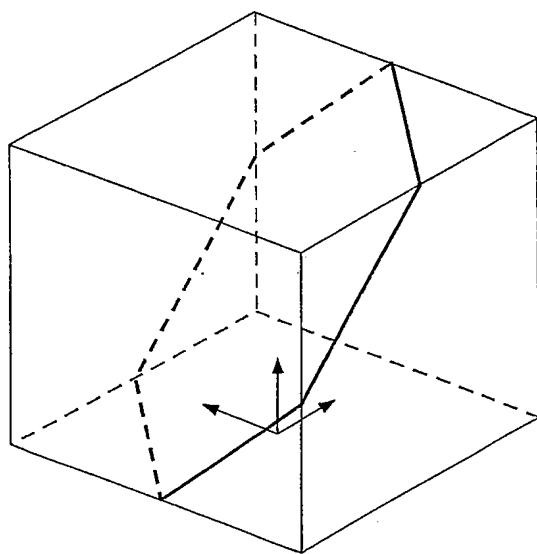


図7B

KTC6



8/9

図8A

KTC3

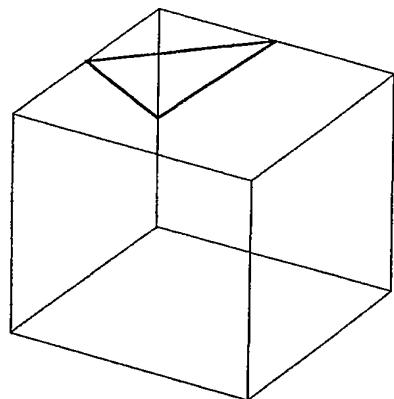


図8B

KTC4a

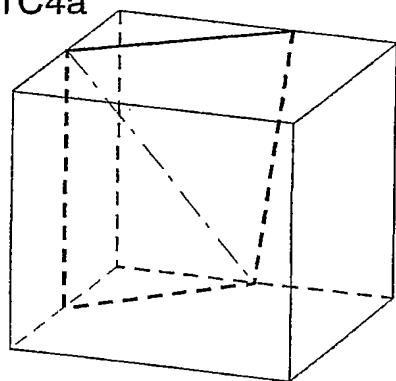


図8C

KTC4b

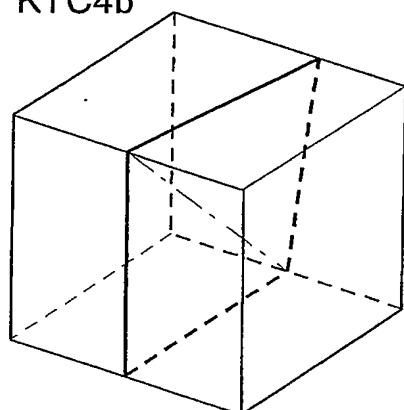


図8D

KTC5

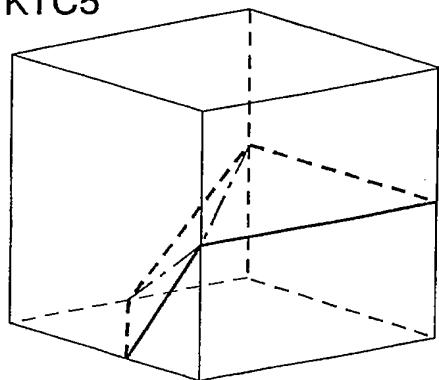
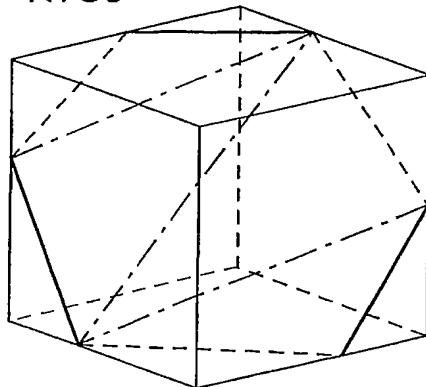
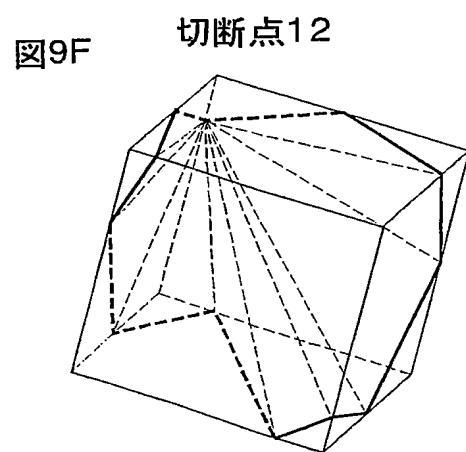
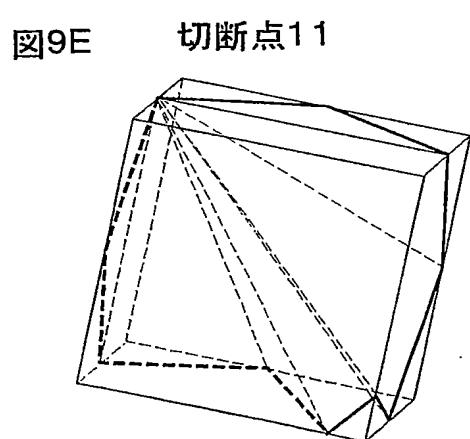
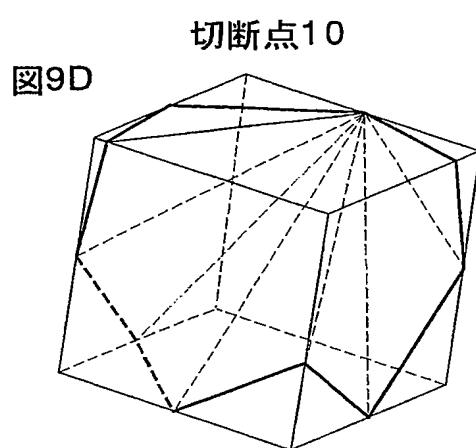
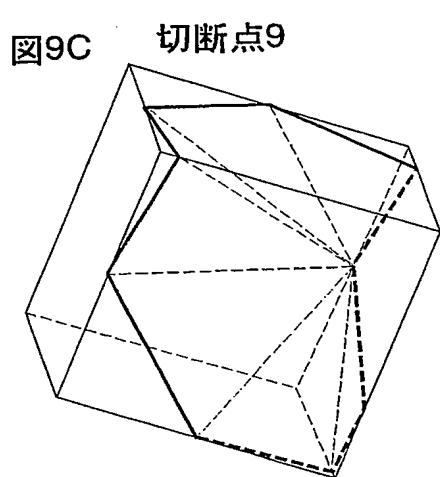
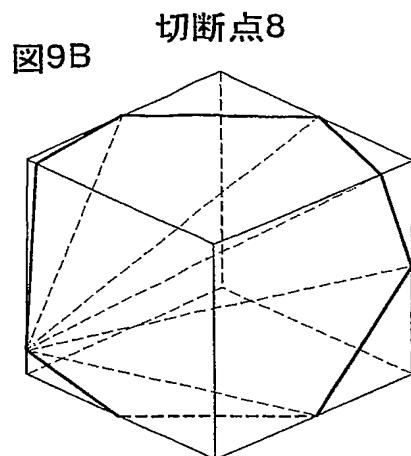
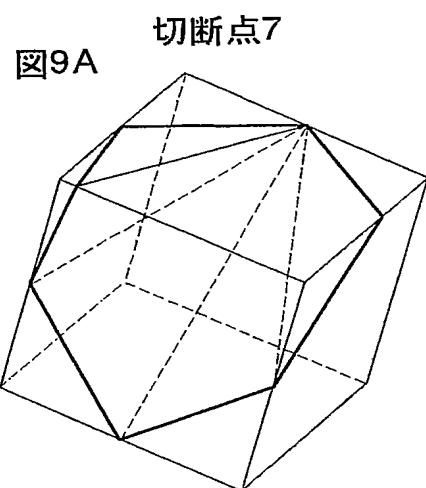


図8E

KTC6





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/12629

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G06F17/50

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G06F17/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Kazutoshi YONEKAWA et al., "Kukan Bunkatsu Model o Mochiita Keijo Modeler", Transactions of Information Processing Society of Japan, Vol.37, No.1, pages 60 to 69, 15 January, 1996 (15.01.96), full text	1, 3, 5
Y		2
A		4
Y	JP 2000-194881 A (Suzuki Motor Corp.), 14 July, 2000 (14.07.00), Par. Nos. [0038] to [0053]; Figs. 12 to 17 (Family: none)	2
A		4
P, A	JP 2002-24306 A (Suzuki Motor Corp.), 25 January, 2002 (25.01.02), Full text & US 2002/4713 A1	1-5

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
21 January, 2003 (21.01.03)

Date of mailing of the international search report
04 February, 2003 (04.02.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int. C17 G06F17/50

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int. C17 G06F17/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	米川和利ほか、空間分割モデルを用いた形状モダラ、情報処理学会	1, 3, 5
Y	論文誌、第37巻、第1号、60-69頁、	2
A	1996.01.15、全文	4
Y	JP 2000-194881 A (スズキ株式会社)	2
A	2000.07.14 (ファミリー無し) 【0038】-【0053】、図12-17	4

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 21.01.03	国際調査報告の発送日 04.02.03
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/JP） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 田中 幸雄  電話番号 03-3581-1101 内線 3531